پژوهش‌های حبوبات ایران
جلد۹ شمارهٔ۲، نیمهٔ دوّم ۱۳۹۷، صفحهٔ ۹۹-۸۱

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 2, 2018, p. 81-99
DOI: 10.22067/ijpr.v9i2.56126

تأثیر باکتری‌های مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس وگوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود (*Cicer arietinum* L.) و برخی پارامترهای خاک

سکینه دستورانی[۱]، شاهین شاهسونی[۲*] و شاهرخ قرنجیک[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد خاک‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود، dastorani.sakine@gmail
۲- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود
۳- عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود، gharanjik@hotmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۰۶

چکیده

مطالعهٔ حاضر به منظور ارزیابی تأثیر کاربرد باکتری‌های ریزوبیوم، تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود رقم هاشم انجام شد. این آزمایش در مزرعه‌ای واقع در ۱۲کیلومتری شهرستان جغتای در فروردین‌ماه سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل باکتری‌های مزورایزوبیوم در سه سطح، عدم تلقیح (Meso0)، تلقیح با مزورایزوبیوم سویه سیسری استرین اماس۱۹۰(Meso1) و تلقیح با مزورایزوبیوم سیسری (*Mesorhizobium ciceri*) استرین اماس۹(Meso2) و تیوباسیلوس در دو سطح، تلقیح (T1) و عدم تلقیح (T0) و گل گوگرد (S) در سه سطح (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰کیلو گرم در هکتار) به صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد که سه عامل بالا تأثیری بر طول ساقه، وزن ریشه، تعداد غده در ریشه و نیتروژن خاک نداشت، اما مزورزوبیوم سویه سیسری استرین اماس۱۹۰ تأثیر مثبتی روی طول ریشه (۲۰درصد) و عملکرد نخود (۱۸درصد) داشت. برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر تعداد غلاف در بوته و عملکرد در هکتار و درصد پروتئین تأثیر مثبتی داشت و در بین مزورایزوبیوم‌ها، مزورایزوبیوم سویه استرین اماس۱۹۰ نسبت به مزورزوبیوم سویه استرین اماس۹ تأثیر بیشتری بر افزایش عملکرد داشت (۱۱۴۶/۷۳کیلوگرم در هکتار). همچنین نتایج نشان داد که استفاده از کودهای زیستی (مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس) موجب افزایش غلظت عناصر غذایی از جمله پتاس، فسفر و گوگرد در خاک شد. برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس و همچنین گوگرد و مزورایزوبیوم، به ترتیب فسفر قابل‌جذب خاک را به میزان ۵۵ و ۵۳درصد افزایش داد. در بررسی اثر کودهای زیستی بر خصوصیات شیمیای خاک مشخص شد که برهمکنش هر سه عامل آزمایشی بر pH، EC و گوگرد خاک مثبت بود. استفاده از کودهای زیستی (مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس) باعث بهبود صفات زراعی نخود و خصوصیات شیمیایی خاک شد.

واژه‌های کلیدی: باکتری مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس، گوگرد، نخود

مقدمه

نخود (*Cicer arietinum* L.) به عنوان یک محصول کم هزینه در سیستم‌های زراعی مناطق گرمسیری نیمه‌خشک کشت می‌گردد (Majnon Hossaini, 2007). این گیاه به خاطر قابلیت سازگاری با طیف وسیعی از شرایط محیطی و خاک از قبیل اراضی حاشیه‌ای برای کشت دیگر محصولات مثل گندم حایز اهمیت می‌باشد. حدود ۲۴ تا ۳۴درصد وزن دانه‌های حبوبات را پروتئین تشکیل می‌دهد که این میزان دو تا سه‌برابر پروتئین غلات و ۱۴ تا ۲۴برابر بیشتر از پروتئین گیاهان غده‌ای است. کودهای زیستی، با افزایش برهمکنش دستیابی به سیستم پایدار و تولید محصولی با کیفیت بالا زراعت نخود را تسهیل می‌نماید. ریزوبیوم‌ها به‌دلیل توان تثبیت نیتروژن، افزایش فرم قابل‌جذب برخی عناصر غذایی و توان تولید عوامل محرک رشد گیاه و همچنین به علت تکنولوژی تولید انبوه مایه تلقیح، به‌عنوان کود زیستی محرک رشد گیاه شناخته شده‌اند (Besharati & Saleh Rastein, 1999). تحقیقات نشان داده است استفاده از هر یک از کودهای زیستی (شامل کود مزورزوبیوم و میکوریزا) موجب افزایش عملکرد دانه نخود و افزایش غلظت‌های روی و فسفر شد (Khosrojerdi *et al.*, 2013). تلقیح دانه‌های نخود با ریزوبیوم باعث افزایش گره

*نویسنده مسئول: shahsavani2001@yahoo.com

زایی، جذب نیتروژن، رشد و عملکرد نخود می‌گردد. باکتری مزورایزوبیوم سیسری (*Mesorhizobium ciceri*) یکی از انواع گونه‌های ریزوبیوم است. این باکتری همزیستی مؤثری با نخودهای یک‌ساله برقرار می‌کند و می‌تواند ۶۰ تا ۹۰درصد نیتروژن گیاه را از اتمسفر به‌دست آورد. گوگرد به‌عنوان یک عنصر غذایی ضروری برای گیاهان و همچنین به‌عنوان ماده تولیدکننده اسید در خاک می‌تواند با اصلاح واکنش خاک شرایط را برای رشد ارقام سویا و تثبیت نیتروژن فراهم کند (Malakouti, 2004). گوگرد در ساختمان آنـزیم نیتروژنـاز نقـش داشته و از طریق تأثیر بر متابولیـسم گیـاه، موجـب افـزایش جـذب نیتروژن مولکـولی توسـط گره‌های ریـشه ای و همچنـین افـزایش روغـن در لگوم‌های روغنی (نظیر سویا) مـی‌گـردد. در یک تحقیق، برای بررسی برهمکنش تغذیه گـوگرد بر ترکیبات غذایی سویا در شرایط گلدانی، مقادیر متفاوت فسفر و گوگرد برای گیاه تأمین شد. نتایج نشان داد که غلظت نیترات در گیاه با ازدیاد میزان گوگرد افزایش یافت (Yadegari, 2001). یکی از مهم‌ترین خصوصیات گوگرد دارابودن درجات مختلف اکسیداسیون می‌باشد. بدین ترتیب علاوه بر ارزش تغذیه‌ای و در نتیجه تأمین سولفات مورد نیاز گیاه (Tabatabai, 1986) به‌دلیل اکسیدشدن و تولید اسیدسولفوریک توانایی لازم برای کاهش اسیدیته خاک را (حداقل در مقیاس کوچک اطراف ریشه‌ها) نیز دارا می‌باشد. اکسیدشدن گوگرد عنصری، به‌وسیله تعداد بی‌شماری از باکتری‌های جنس تیوباسیلوس صورت می‌گیرد که پنج گونه از آن‌ها در بیشتر خاک‌ها مشاهده شده است.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کمبود گوگرد به‌میزان متوسط، عملکرد را از طریق تأثیر بر رشد گیاه در دورهٔ پُرشدن دانه کاهش می‌دهد، این تأثیر دیرهنگام ناشی از کمبود گوگرد می‌تواند نتیجه تحرک زیاد گوگرد در خاک و انتقال مجدد اندک گوگرد در گیاه باشد. لذا فراهمی گوگرد در گیاه می‌تواند بر پُرشدن دانه و افزایش عملکرد اقتصادی آن تأثیرگذار باشد (Amani *et al.*, 2007). باکتری تیوباسیلوس به‌عنوان یک اکسیدکننده مهم گوگرد در خاک باعث افزایش چشمگیر میزان سولفات در خاک می‌شود (Zeng, 1996). در بررسی تأثیر برهمکنش گوگرد و مایه تلقیح تیوباسیلوس بر غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز در گیاه کلزا در شرایط گلخانه ای افزایش عملکرد ایجاد شد (Kochakzadeh & Malakoti, 2001). هدف از اجرای این تحقیق بررسی تأثیر باکتری‌های مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس وگوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود و برخی پارامترهای خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال زراعی ۱۳۹۳ در مزرعه‌ای واقع در شهرستان جغتای در موقعیت جغرافیایی شمال‌شرق کشور و غرب استان خراسان رضوی و شمال غرب شهرستان سبزوار بین ۵۶:۳۶ درجه تا ۵۷:۱۶ درجه طول جغرافیایی و ۲۶:۲۵ درجه تا ۳۶:۵۳ درجه عرض جغرافیایی اجرا شد. بر اساس تقسیم‌بندی های اقلیمی منطقه جغتای دارای آب و هوایی گرم و نیمه خشک می‌باشد. میانگین بارش درسال ۹۳-۱۳۹۲، ۲۱۱/۲ میلی‌متر بود. سردترین دمای سال، ۱۴/۲درجه سانتی‌گراد زیر صفر (در ماه‌های دی و بهمن) و گرم‌ترین دمای سال از اواخر اردیبهشت تا اواخر مردادماه با ۴۵درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای سالانه ۱۱/۲درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد مطالعه در جدول۱ آورده شده است.

این تحقیق در قالب آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح بلوک های کامل تصادفی در سه تکرار و با ۱۸تیمار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایش، شامل گوگرد در سه سطح (۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰کیلوگرم در هکتار)، باکتری تیوباسیلوس (در دو سطح، عدم تلقیح و تلقیح تیوباسیلوس نئوپاروس استرین تی‌بی۹۳) و باکتری مزورایزوبیوم سیسری در سه سطح) عدم تلقیح، تلقیح با مزورایزوبیوم سیسری استرین اماس۱۹۰ و تلقیح با مزورزوبیوم سیسری استرین امس۹) بود. کرت‌ها به ابعاد ۲×۴ متر و دارای سه خط کاشت بود. فاصلهٔ بین خطوط کشت ۶۰سانتی‌متر، روی خطوط ۲۰سانتی‌متر، بین کرت‌ها ۶۰سانتی‌متر و بین دو تکرار، یک‌متر درنظرگرفته شد. مایه تلقیح باکتری (تهیه‌شده از شرکت زیست‌فناور توران شاهرود) به میزان یک کیلوگرم برای۲۰کیلوگرم بذر نخود در هکتار به صورت بذرمال به‌کار رفت. ابتدا بذور با مادهٔ تلقیحی مخلوط گردیدند و بعد از خشک شدن نسبی مواد تلقیحی سطح بذور در سایه، بذور سریعاً کشت شدند. علاوه بر آب باران، آبیاری هر ۱۴روز صورت گرفت. مبارزه با علف‌های‌هرز مزرعه، به‌صورت وجین دستی انجام شد. در این آزمایش، هیچ‌گونه آفت و بیماری مشاهده نشد. اوایل تیرماه، بوته‌ها از سطح خاک و از ناحیه طوقه قطع گردیده و توسط پاکت‌های مخصوص نمونه‌برداری به آزمایشگاه منتقل شده و درون آون با دمای ۷۲درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ساعت قرار داده شدند. شایان ذکر است که برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، با احتساب حذف حاشیه از ابتدا و انتهای کرت، از مساحت یک مترمربع استفاده شد. برای تبدیل درصد نیتروژن به پروتئین، از ضریب تبدیل پروتئین ۶/۲۵ استفاده شد (Erman *et al.*, 2011). همچنین برای اندازه‌گیری طول ریشه، از هر ۱۰بوته انتخابی در هر کرت طول ریشه با شستن ریشه‌ها در آب مقطر

اندازه‌گیری شد و سپس میانگین آن‌ها درنظرگرفته شد. در بررسی خصوصیات شیمیایی خاک، پتاسیم قابل جذب به روش Aliehyaei & Behbehani (1994)، فسفر قابل دسترس به روش Olsen *et al*, (1954)، نیتروژن کل با دستگاه کجلدال Chapman & Pratt (1961) و کربن آلی خاک به روش Walkley & Black (1934) اندازه‌گیری شدند. هدایت الکتریکی (EC) و مقدار pH در سوسپانسیون ۱:۲ آب به خاک مورد سنجش قرار گرفت(Chapman & Pratt, 1961). تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) و در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد انجام شد.

جدول۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Physico-chemical properties of used soil

عمق Depth (cm)	اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی Ec (ds m^{-1})	درصد اشباع Sp (%)	کربن آلی O.C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل‌جذب Avail. P (mg kg^{-1})	پتاسیم قابل‌جذب Avail. K (mg kg^{-1})	کلاس بافت خاک Soil texture
0-30	7.69	0.53	41.9	0.95	0.09	5.8	558	Si – L

نتایج و بحث

ارتفاع گیاه

تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی و متقابل تیمارها تفاوت معنی‌داری بر ارتفاع گیاه نداشت. Afshari (2013) اظهار داشت که سویه‌های مختلف ریزوبیوم و باکتری محرک رشد گیاه بر ارتفاع بوته معنی‌دار نبود. دور از انتظار نیست که در برخی موارد وضعیت مواد غذایی خاک اثر چشمگیری بر این صفت نداشته باشد.

تعداد غلاف در بوته

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) اثر اصلی گوگرد در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری (۲۰درصد) بر تعداد غلاف در بوته داشت. گوگرد تأثیر مثبتی روی تعداد غلاف در بوته داشت که نتایج به‌دست‌آمده با نتایج سایر محققان همخوانی دارد. Solemani & Asgharzadeh (2010) اظهار داشتند که مصرف سولفات روی، تفاوت معنی داری در تعداد غلاف در بوته نسبت به شاهد ایجاد نمود.

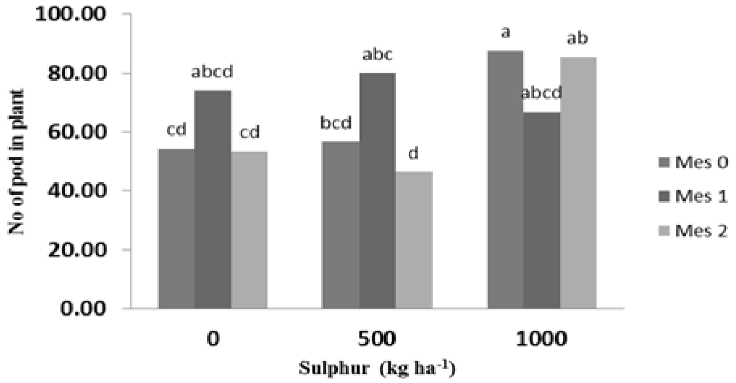
مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر تعداد غلاف در بوته نشان داد که بیشترین تعداد غلاف در بوته مربوط به تیمار ۱۰۰۰کیلوگرم گوگرد در هکتار، با ۶۱درصد افزایش نسبت به شاهد بود (شکل ۱). گوگرد علاوه بر نقش تغذیه‌ای خود از طریق اصلاح pH و افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی گیاه می‌تواند موجب افزایش رشد و تثبیت نیتروژن و در نتیجه افزایش رشد در گیاه شود و کمترین تعداد مربوط به تیمار کاربرد مزورایزوبیوم سیسری استرین اماس۹ و گوگرد در سطح ۵۰۰کیلوگرم در هکتار بود که باعث کاهش ۱۵درصد تعداد غلاف در بوته نسبت به شاهد گردید که ممکن است به‌خاطر کاربرد مزورایزوبیوم سیسری (Meso2) بوده باشد.

طول ریشه

نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثرات اصلی و برهمکنش تیمارها به‌جُز اثر اصلی باکتری مزورایزوبیوم بر طول ریشه معنی‌دار نبود و کاربرد مزورایزوبیوم در سطح احتمال ۵درصد باعث تفاوت معنی‌دار بر طول ریشه گردید. مقایسه میانگین اثر مزورایزوبیوم بر طول ریشه (شکل ۲) نشان داد بین دو سویه باکتری اختلاف معنی‌دار از لحاظ تأثیر بر این صفت وجود نداشت و استفاده از هر دو سویه باکتری مزورایزوبیوم باعث افزایش معنی‌دار طول ریشه گردید و بیشترین مقدار طول ریشه مربوط به تیمار مزورایزوبیوم سیسری استرین اماس۱۹۰ بود که در مقایسه با شاهد ۲۰درصد طول ریشه افزایش یافت. تحقیقی نشان داده است که باکتری های موجود در کود زیستی علاوه بر تثبیت نیتروژن جو و متعادل‌کردن جذب عناصر پُرمصرف و کم‌مصرف مورد نیاز گیاه، موجب رشد و توسعه ریشه و قسمت‌های هوایی گیاهان شد و با محافظت از ریشه‌ها در برابر عوامل بیماری‌زای خاکزی موجب افزایش محصول گردید (Karimi *et al.*, 2013).

وزن ریشه

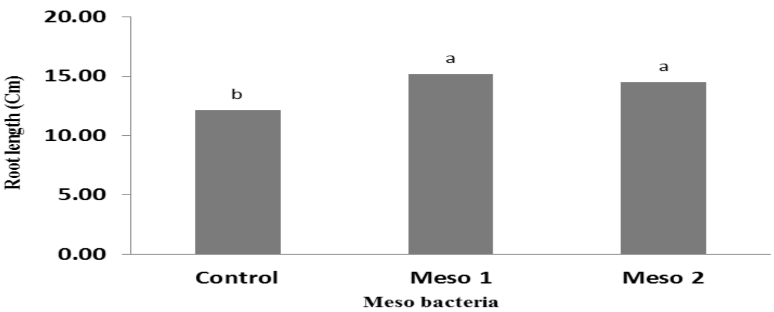
جدول تجزیه واریانس نشان داد، که اثر اصلی تیمارها بر وزن ریشه معنی‌دار نبود، اما برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس در سطح ۵درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). احتمالاً دلیل آن، اکسایش گوگرد از طریق کاهش pH و افزایش قابلیت جذب برخی از عناصر غذایی است که می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد پنبه شود (Bao, 1998).



شکل ۱- برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر تعداد غلاف در بوته

Fig. 1. Interaction effect of sulphur and Mesohrizobium on No of pod per plant

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹



شکل ۲- تأثیر مزورایزوبیوم بر طول ریشه

Fig. 2. Mesorhzobium effect on root length

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹

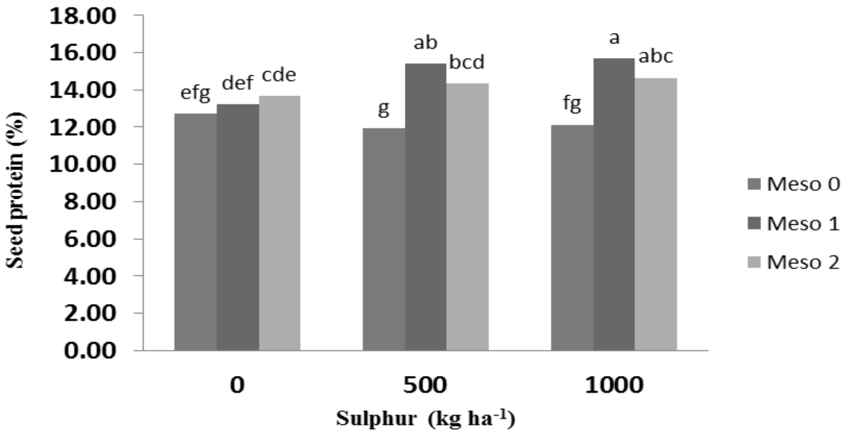
پروتئین دانه

نتایج آنالیز واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر اصلی تیمارهای گوگرد و باکتری، همچنین برهمکنش گوگرد و باکتری مزورایزوبیوم، برهمکنش گوگرد با باکتری مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس، تفاوت معنی‌داری در سطح یک‌درصد بر صفت مذکور داشت. Naderi & Erfani (2007) گزارش نمودند که تأثیر گوگرد بر میزان پروتئین و وزن ۱۰۰۰دانه مثبت بود، اما ارتفاع بوته تحت تأثیر مصرف گوگرد قرار نگرفت. گیاهان به گوگرد به‌عنوان یک ماده غذایی مهم نیـاز دارند. گوگرد در ساختمان پروتئین و اسیدهای آمینه به‌کار می‌رود. نقش گوگرد در گیاهان، به‌طور عمده ساخت پروتئین، روغن و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی است. به‌طور کلـی گوگرد در تشکیل کلروفیل و تشکیل آنزیم نیتروژناز دخالت داشته و از تجمع نیترات جلوگیری می‌کند (Erman *et al.*, 2011). مطالعات بین فعل و انفعالات گوگرد و نیتروژن در گندم در سطح عملکرد نشان داد که گوگرد یک ترکیب ضروری برای آنزیم های درگیر در متابولیسم نیتروژن، آنزیم نیترات ردوکتاز و نیتریت ردوکتاز است و کمبود آن منجر به کاهش جذب نیتروژن و تجمع نیترات در گیاهان می‌شود (Kaplan & Mendel, 1997؛ Orman, 1998).

مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد با کاربرد ۱۰۰۰کیلوگرم در هکتار و مزورایزوبیوم سیسری۱۹۰، نسبت به شاهد، ۱۸درصد افزایش پروتئین داشت (شکل ۳).

Khosrojerdi *et al*, (2013) نشان دادند که کاربرد ریزوبیوم و کود سولفات آهن بر عملکرد دانه، غلظت آهن، روی و درصد پروتئین در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار شد. این امر با توجه به تأثیر فراهمی مواد غذایی در رشد گیاه قابل توجیه است. کودهای زیستی میکروارگانیسم‌هایی هستند که قادرند عناصر غذایی را از شکل نامحلول به شکل قابل استفاده تبدیل کنند. از آنجا که گوگرد جزء ساختمان پروتئین می‌باشد،

باکتری تیوباسیلوس باعث می‌شود که گوگرد به سولفات تبدیل شده و قابل جذب گیاه شود و همچنین مزورایزوبیوم نیتروژن هوا را به نیتروژن قابل جذب برای گیاه تبدیل می‌کند و این تبدیل در یک پروسه زیستی انجام می‌گیرد، که با فراهم‌شدن مواد غذایی کیفیت و کمیت محصول بیشتر می‌شود.



شکل ۳- برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر درصد پروتئین دانه

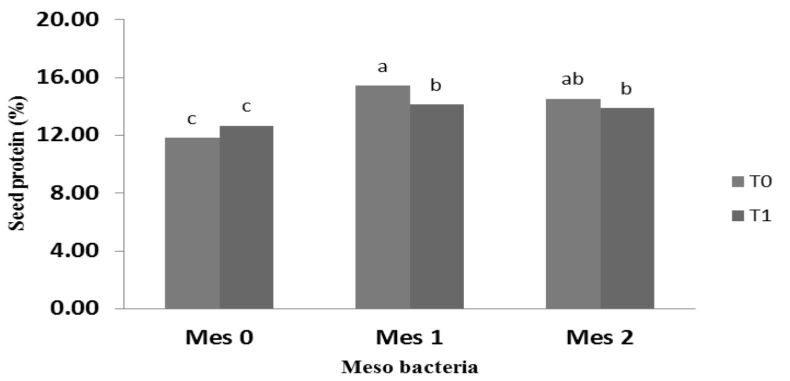
Fig. 3. Interaction effect of sulphur and mesorhizobium on seed protein percent

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین ام‌اس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین ام‌اس۹

بیشترین درصد پروتئین دانه مربوط به تیمار مزورایزوبیوم بود که نسبت به شاهد، ۱۷درصد باعث افزایش پروتئین در دانه نخود گردید.

نتایج آنالیز واریانس نشان داد که اثر متقابل تیوباسیلوس و باکتری مزورایزوبیوم بر پروتئین دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (شکل ۴).

Chand & Garg (2011) نشان دادند که کاربرد توأم قارچ میکوریز و ریزوبیوم سبب افزایش عملکرد دانه و غلظت در میزان پروتئین و گوگرد دانه شد. برهمکنش تیوباسیلوس و مزورزوبیوم نشان می‌دهد که اضافه‌کردن تیوباسیلوس و مزورزوبیوم، سبب افزایش ۹درصدی پروتئین دانه نسبت به شاهد گردید. تیوباسیلوس به‌تنهایی نتوانست باعث افزایش پروتئین دانه گردد، ولی به‌همراه باکتری مزورایزوبیوم باعث افزایش پروتئین دانه شد (Solemani & Asgharzadeh, 2010). تلقیح بذور با مزوریزوبیوم باعث افزایش رشد ریشه شد که همین امر باعث افزایش جذب عناصر غذایی بیشتر و در نهایت افزایش پروتئین دانه گردید (Afshari, 2013).



شکل ۴- اثر متقابل مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس بر درصد پروتئین دانه

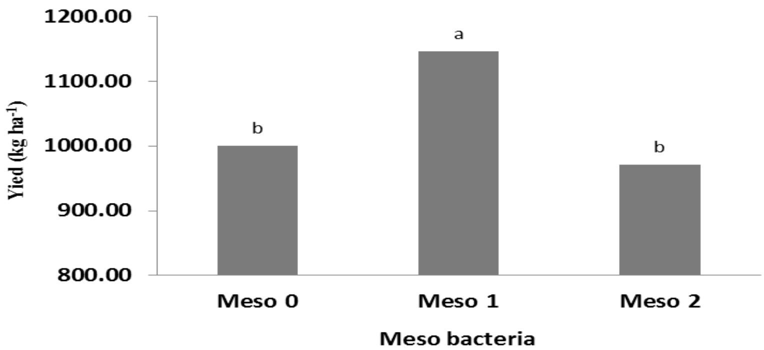
Fig. 4. Interaction effect of mesorhizobium and thiobacillus on seed protein percent

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین ام‌اس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین ام‌اس۹

عملکرد دانه

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سویه‌های مختلف ریزوبیوم بر عملکرد دانه در سطح ۱درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های سطوح مختلف مزورایزبیوم نشان داد بالاترین عملکرد دانه (۱۱۴۶/۷۳کیلوگرم در هکتار) مربوط به سطح مزورایزبیوم سیسیری۱۹۰ و کمترین عملکرد (۹۷۱/۰۷کیلوگرم در هکتار) مربوط به سطح مزورایزوبیوم سیسری۹ بود که با شاهد، تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۵). Saini *et al*, (2004) اظهار داشتند که تلقیح بذر با باکتری سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیکی و اقتصادی نخود شد. Sogut (2006) در بررسی تأثیر کود نیتروژن و تلقیح با باکتری رایزوبیوم بر ارقام مختلف سویا گزارش کرد تلقیح با باکتری رایزوبیوم در مقایسه با کاربرد ۷۵کیلوگرم نیتروژن در هکتار در بهبود عملکرد کمّی و کیفی سویا مؤثرتر است. Shrivastava *et al*, (2000) در بررسی اثر تلقیح با باکتری رایزوبیوم بر روی سویا گزارش کردند که تلقیح با رایزوبیوم سبب افزایش ۸درصدی عملکرد سویا در مقایسه با کاربرد معمول کود شد. اثرات تشدیدکنندهٔ رشد گیاهانی که با باکتری ریزوبیوم تلقیح شده‌اند، به‌دلیل تولید فیتوهورمون، محدودشدن رشد قارچ‌های پاتوژن، تثبیت نیتروژن مولکولی افزایش کارآیی منابع نیتروژن‌دار و سایر عناصر غذایی، تولید و ترشح سیدروفورها و ایجاد مقاومت در برابر تنش‌های محیطی بوده‌اند و در نتیجه عملکرد افزایش می‌یابد (Flavio *et al*., 2007).

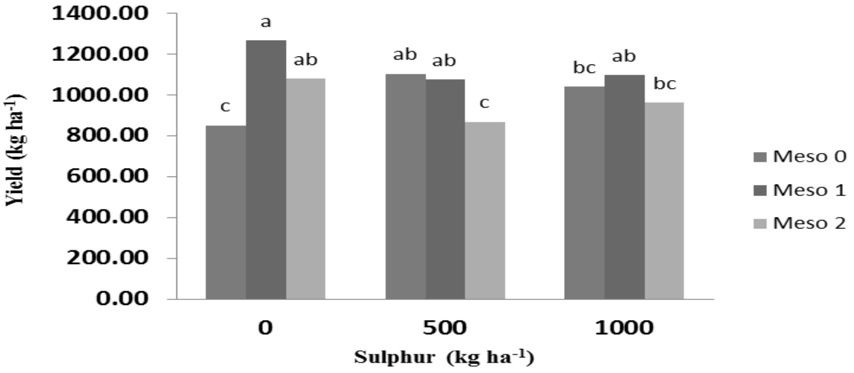
مقایسه میانگین برهمکنش سطوح مختلف گوگرد و مزورزوبیوم (شکل ۶) نشان داد که بالاترین عملکرد دانه مربوط به سیسری استرین اماس۱۹۰ به مقدار ۱۲۶۸کیلوگرم در هکتار با ۴۹درصد افزایش عملکرد بود. باکتری‌ها موجب افزایش فتوسنتز و تولید مواد پرورده گردیده و در مرحله پُرشدن دانه‌ها، اسیمیلات بیشتری به دانه‌ها انتقال یافته و منجر به افزایش عملکرد دانه می‌شود. گوگرد برای رشد و نمو گیاهان ضروری است. این عنصر باعث تحریک دانه می‌شود. با افزایش گوگرد، جذب عناصر غذایی افزایش یافت و در نتیجه عملکرد افزایش یافت (Togay *et al*., 2008). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد نخود در سطح یک‌درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که واکنش نخود در سطوح مختلف گوگرد به تلقیح با تیوباسیلوس مشابه نبود و در سطح عدم کاربرد گوگرد، نخود به تلقیح تیوباسیلوس واکنش منفی داشت؛ اما زمانی که گوگرد استفاده شد، تلقیح با باکتری سبب افزایش عملکرد گردید. باکتری تیوباسیلوس باعث اکسایش گوگرد شده و اسید سولفوریک تولیدشده، باعث انحلال کربنات‌ها و بی کربنات‌ها و قابل‌دسترس‌نمودن عناصر غذایی گردیده و در نهایت عملکرد بیشتری حاصل می‌شود. اکسایش گوگرد در خاک عمدتاً به‌صورت زیستی و توسط ارگانیسم‌های مختلف ازجمله باکتری جنس تیوباسیلوس صورت می‌گیرد. سطوح گوگرد به همراه باکتری تیوباسیلوس و نیز اثرات متقابل آن با تیوباسیلوس قادر است با ۵۰درصد از مواد خنثی‌شونده خاک واکنش نشان دهد (Besharati & Saleh Rastein, 1999; Falahatgar *et al*., 2011). در بررسی تأثیر مقادیر مختلف گوگرد و مایه تلقیح باکتری‌های تیوباسیلوس بر عملکرد ماده خشک، میزان کلروفیل و جذب آهن بر روی بخش هوایی در دو رقم سویا افزایش نشان داد. افزایش سطوح گوگرد و تلقیح تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک شده و در نتیجه جذب عناصر غذایی افزایش یافته و این باعث افزایش عملکرد می‌شود.



شکل ۵- اثر اصلی مزورایزوبیوم بر عملکرد دانه

Fig. 5. Main effect of Mesorhzibum on chickpea yield

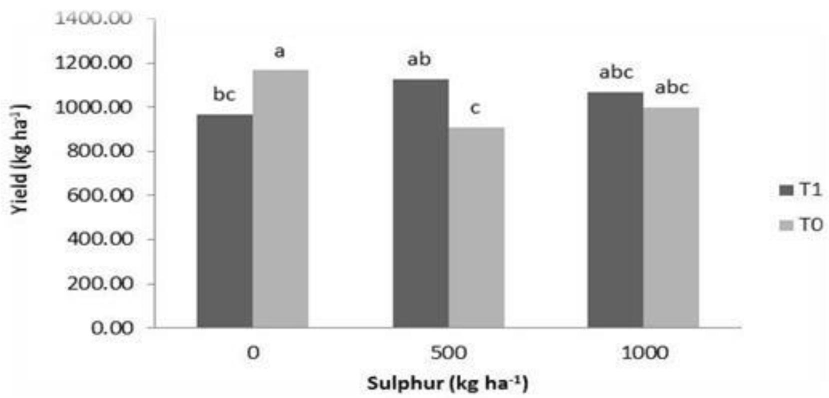
Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹



شکل ۶- برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم بر عملکرد نخود

Fig 6. Interaction effect of sulphur and mesorhizobium on chickpea yield

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹



شکل ۷- اثر متقابل گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد نخود

Fig 7. Interaction effect of sulphur and Thiobacillus on chickpea yield

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس

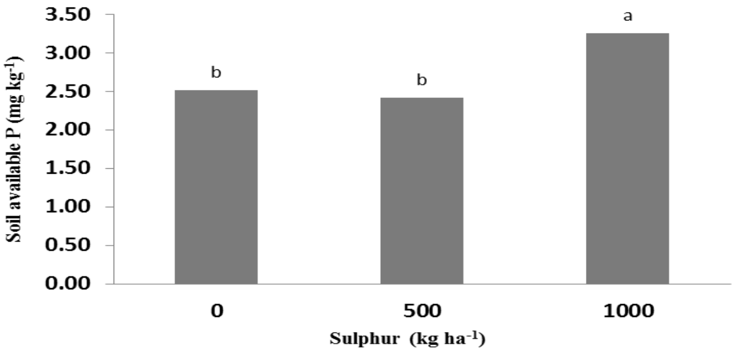
صفات مورد اندازه‌گیری خاک

گوگرد خاک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد باکتری تیوباسیلوس همراه با گوگرد، باعث افزایش گوگرد قابل جذب گردید و در سطح احتمال یک‌درصد اختلاف معنی داری نشان داد. نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (Besharati & Saleh Rastein, 1999). در بیشتر موارد، افزایش مقادیر گوگرد و کود زیستی تیوباسیلوس باعث افزایش عملکرد و همین‌طور غلظت و جذب عناصر توسط گیاه شد و این نتایج بیانگر اثر مثبت افزودن این کودها بود. مقایسه میانگین برهمکنش نشان داد که بیشترین عملکرد در برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس مربوط به کاربرد ۱۰۰۰کیلوگرم گوگرد همراه با تیوباسیلوس نسبت به شاهد بود که باعث افزایش ۲۶درصدی عملکرد دانه گردید (Kaplan & Orman, 1998).

فسفات خاک

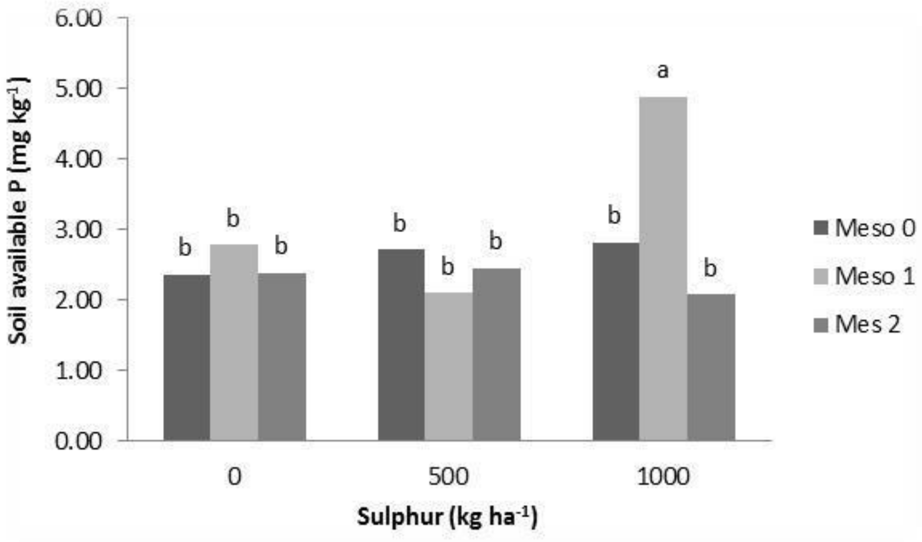
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول۳) نشان داد که اثر ساده تیمارهای گوگرد، باکتری مزورایزوبیوم، همچنین برهمکنش گوگرد و باکتری مزورایزوبیوم، گوگرد، تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم، روی قابلیت جذب فسفر خاک در سطح احتمال یک‌درصد معنی‌دار گردید. Kaplan & Orman (1998) نتیجه گرفتند که جذب فسفر توسط لوبیا با افزایش مقدار گوگرد افزایش یافت. مقایسه میانگین سطوح مختلف گوگرد نشان داد که بیشترین فسفر قابل جذب مربوط به کاربرد ۱۰۰۰کیلوگرم گوگرد در هکتار بود (شکل ۸). به‌دلیل این‌که گوگرد pH خاک را کاهش داده و فسفر که در خاک های آهکی به‌صورت تِری و دی‌کلسیم فسفات تثبیت شده، به فرم فسفات قابل جذب تبدیل شد.



شکل ۸- تأثیر گوگرد بر فسفر قابل جذب
Fig. 8. Sulphur effect on soil available phosphorus

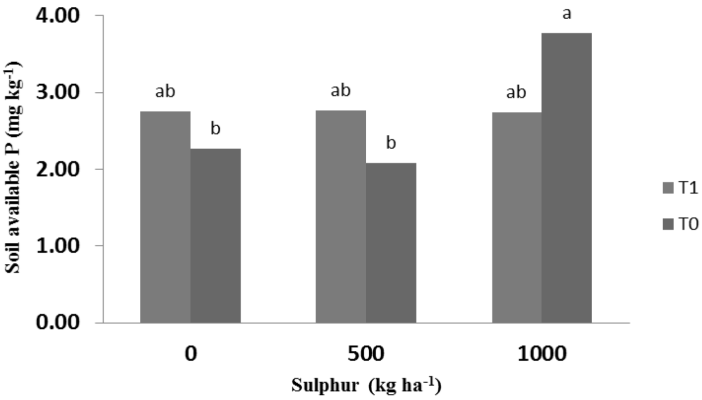
در تحقیقی که توسط Daneshi *et al*, (2005) بر روی نخود انجام گرفت، جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر و پتاسیم در تیمارهای ریزوبیوم بیشتر از سایر تیمارها بود و اختلاف معنی‌دار در سطح یک‌درصد در بین تیمارها وجود داشت. Al-Karaki (2006) نیز گزارش کرد که تلقیح بذر گوجه‌فرنگی با گلوموسه باعث افزایش ماده خشک ریشه، اندام هوایی و همچنین غلظت فسفر، پتاسیم، آهن، روی و مس شد. در گیاه نخود با تلقیح گلوموسه جذب فسفر، تعدادگره‌ها، وزن خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و فعالیت نیتروژناز افزایش یافت.

مقایسه میانگین تأثیر مزورایزوبیوم سیسری استرین اماس۱۹۰ بر فسفر قابل جذب نشان داد که نسبت به شاهد، ۲۳درصد افزایش داشت (شکل ۹). Besharati & Saleh Rastein (1999) نشان دادند که مصرف نیم‌درصد (وزنی) گوگرد عنصری با کاهش pH، مقدار فسفر قابل جذب خاک را از ۴/۹۹ به ۱۲/۸۷میلی‌گرم در کیلوگرم افزایش داد. در خاک‌های قلیایی فسفر توسط کلسیم تثبیت می‌شود که استفاده از گوگرد pH خاک را کاهش داده و فراهمی فسفر بیشتر می‌شود.



شکل ۹- برهمکنش گوگرد و مزوریزوبیوم برفسفات قابل جذب
Fig. 9. Interaction effect of sulphur and mesorhizobium on available Phosphorus
Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس تأثیر معنی‌داری بر قابلیت جذب فسفر در سطح احتمال یک‌درصد داشت که با تحقیقات سایر دانشمندان همخوانی دارد. Besharati & Saleh Rastein (1999) نشان دادند که مصرف گوگرد همراه با مایه تلقیح تیوباسیلوس، مقدار فسفر جذب‌شده توسط ذرت را افزایش داد. برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس روی فسفر نشان داد که بیشترین مقدار فسفر قابل جذب مربوط به اضافه‌کردن ۱۰۰۰کیلوگرم گوگرد در هکتار و تیوباسیلوس بود که ۳۷درصد افزایش نسبت به شاهد نشان داد (شکل۱۰).



شکل ۱۰- برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس بر فسفات قابل جذب خاک

Fig. 10. Interaction effect of sulphur and thiobacillus on available Phosphorus

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم اختلاف معنی‌داری بر قابلیت جذب فسفر در سطح احتمال یک‌درصد داشت که با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (Besharati & Saleh Rastein, 1999). نتایج تحقیقی که توسط Daneshi *et al*, (2005) بر روی نخود انجام گرفت، نشان داد که جذب عناصر غذایی از قبیل فسفر و پتاسیم در تیمارهای تلقیحی ریزوبیوم بیشتر از سایر تیمارها بود و اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد نسبت به تیمار شاهد مشاهده شد. مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد همراه با تلقیح مزورایزوبیوم (شکل ۱۱) نشان داد که اضافه‌کردن ۱۰۰۰کیلوگرم گوگرد همراه با تلقیح مزورایزوبیوم نسبت به شاهد باعث افزایش ۵۲درصدی قابلیت جذب فسفر در خاک شد. در خاک‌های قلیایی فسفر توسط کلسیم تثبیت می‌شود که استفاده از گوگرد pH خاک را کاهش داده و سبب فراهمی فسفر بیشتر می‌شود (Besharati & Saleh Rastein, 1999).

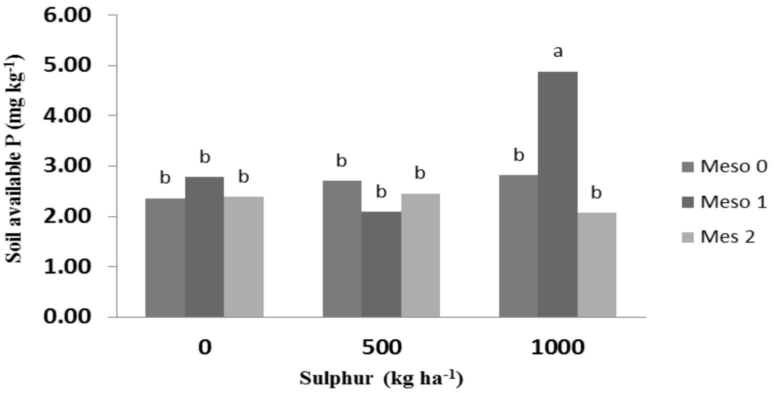
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر قابلیت جذب فسفر داشت. Ehteshami *et al*, (2007) گزارش نمودند که مصرف کودهای زیستی در ذرت باعث شد میکوریزا و ریزجانداران دیگر افزایش یابد و اثر مثبت بر جذب عناصر غذایی و عملکرد داشته باشد. مقایسه میانگین برهمکنش اضافه‌کردن تیوباسیلوس همراه با تلقیح مزورایزوبیوم نسبت به شاهد باعث افزایش ۶۰درصدی قابلیت جذب فسفر در خاک گردید (شکل۱۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم همراه با گوگرد، تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج‌درصد بر قابلیت جذب فسفر خاک داشت. استفاده از هر یک از کودهای زیستی (شامل کود مزورایزوبیوم و میکوریزا) موجب افزایش عملکرد دانه و افزایش غلظت فسفر گردید (Khosrojerdi *et al*., 2007). بسیاری از پژوهشگران گزارش نمودند که جذب فسفر به وسیله گیاه با مصرف گوگرد و تولید اسیدسولفوریک در نتیجه اکسایش آن توسط تیوباسیلوس، باعث کاهش pH و افزایش دسترسی فسفر می‌شود (Zapata & Roy, 2004). در این مطالعه نتایج مقایسه میانگین برهمکنش مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس و گوگرد بر میزان فسفر قابل جذب خاک نشان داد که با اضافه کردن مزورایزوبیوم همراه با کاربرد ۱۰۰۰کیلوگرم گوگرد در هر هکتار، فسفر قابل جذب نسبت به شاهد به میزان ۷۵درصد افزایش یافت.

پتاس خاک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم، بر پتاسیم قابل جذب خاک در سطح احتمال یک‌درصد معنی دار شد (جدول ۳).

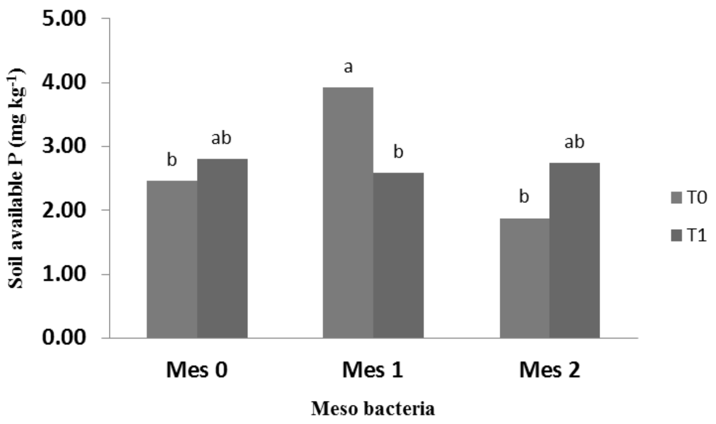
Amani & Reisei (2007) گزارش کردند که کاربرد سطوح مختلف گوگرد بر غلظت عناصر غذایی فسفر و پتاسیم تأثیر معنی‌داری داشت. نتایج نشان داد که همراه با افزایش سطوح گوگرد و کاهش pH، فسفر و پتاسیم نیز در گیاه سویا افزایش یافت و این افزایش در سطح ۱۵تُن در هکتار به بالاترین میزان خود رسید. مقایسه میانگین اثر متقابل گوگرد و مزورایزوبیوم (شکل ۱۳) نشان داد که با اضافه‌کردن ۱۰۰۰کیلوگرم گوگرد در هر هکتار همراه با مزورایزوبیوم ۱۷درصد جذب پتاسیم نسبت به شاهد افزایش یافت. این باکتری‌ها با تأثیر بر فیزیولوژی و مورفولوژی ریشه گیاهان تلقیح‌شده باعث جذب بیشتر عناصر غذایی و افزایش رشد گیاهان می‌شود (Bao, 1998).



شکل ۱۱- اثر متقابل گوگرد و مزورایزوبیوم برفسفات قابل جذب

Fig. 11. Interaction effect of sulphur and mesorhizobium on available Phosphorus

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹

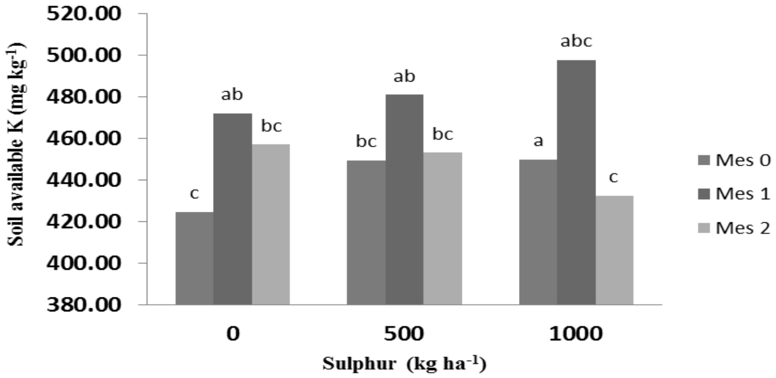


شکل ۱۲- برهمکنش مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس بر فسفات قابل جذب خاک

Fig. 12. Interaction effect of mesorhizobiums on available Phosphorus

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس



شکل ۱۳- اثر متقابل مزورایزوبیوم وگوگرد بر پتاسیم قابل جذب

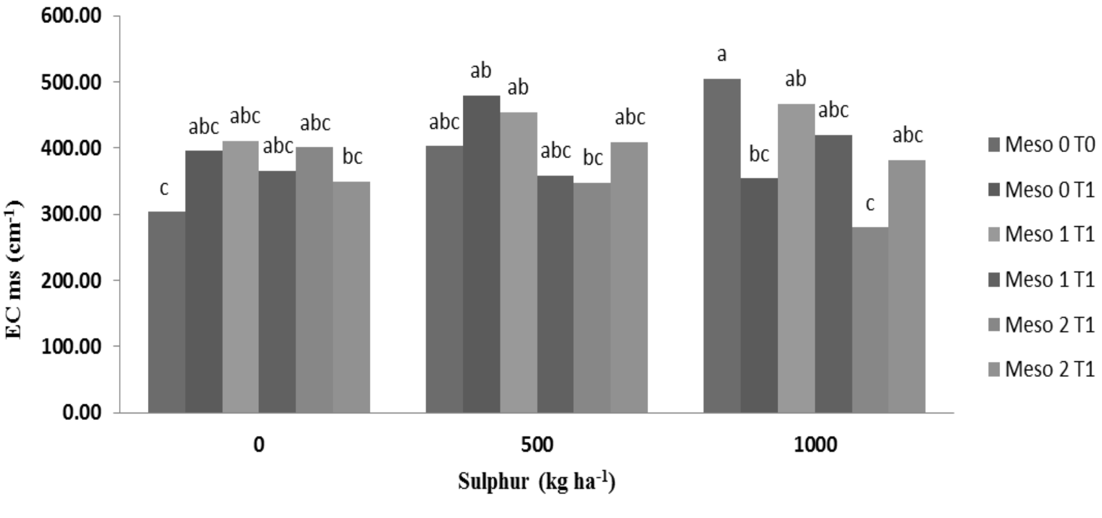
Fig. 13. Interaction effect of mesorhizobiums and sulphuron available Potassium

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹

هدایت الکتریکی(EC)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و متقابل تیمارها تفاوت معنی‌داری بر هدایت الکتریکی خاک نداشت (جدول ۳). فقط برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس بر روی هدایت الکتریکی خاک در سطح احتمال پنج‌درصد معنی‌دار گردید. مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس بر هدایت الکتریکی خاک نشان می‌دهد که اضافه‌کردن مزورایزوبیوم استرین اماس۱۹۰سیسری و تیوباسیلوس همراه با کاربرد۱۰۰۰کیلوگرم گوگرد در هکتار باعث افزایش ۳۸درصدی EC خاک نسبت به شاهد گردید (شکل ۱۴). اضافه‌کردن کودهای زیستی از جمله تیوباسیلوس و مزورایزوبیوم باعث فراهمی عناصر در محلول خاک شده و درنتیجه دراثر انحلال و تجزیه مواد آلی توسط باکتری‌ها، به تدریج املاح وارد محلول خاک می‌شود که منجر به افزایش EC می‌گردد (Amani & Reisei, 2007).

Mahmmodabadi *et al*, (2013) نتیجه گرفتند که افزودن گوگرد منجر به افزایش EC خاک می‌شود.



شکل ۱۴- برهمکنش مزورایزوبیوم، گوگرد و تیوباسیلوس بر هدایت الکتریکی خاک

Fig. 14. Interaction effect of mesorhizobiums, thiobacillus and sulphur on soil EC

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس

اسیدیته گل اشباع (pH)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده گوگرد و تیوباسیلوس و برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس، گوگرد و مزورایزوبیوم در سطح احتمال یک‌درصد و برهمکنش گوگرد همراه با مزورایزوبیوم و تیوباسیلوس در سطح احتمال پنج‌درصد بر اسیدیته گل اشباع معنی‌دار گردید (جدول ۳).

مقایسه میانگین تأثیر گوگرد بر pH خاک نشان داد که اضافه‌کردن گوگرد باعث کاهش pH در آخر فصل رشد نسبت به شاهد گردید (شکل ۱۵). کاهش pH خاک (حتی به طور موضعی) یکی از روش‌های مؤثر و رایج مقابله با تثبیت عناصر غذایی در خاک‌های آهکی و قلیایی محسوب می‌شود. گوگرد متداول‌ترین و مقرون‌به صرفه‌ترین ماده اسیدزا می‌باشد (Tisdale *et al*., 1993).

در آزمایشی کاربرد تیوباسیلوس تیواکسیدانس به طور معنی‌داری (سطح یک‌درصد) موجب کاهش pH خاک در مقایسه با شاهد گردید (Ansori & Gholami, 2014). مقایسه میانگین اثر تیوباسیلوس بر pH خاک (شکل ۱۶) نشان می‌دهد که ۰/۳۵ واحد pH خاک کاهش یافته است.

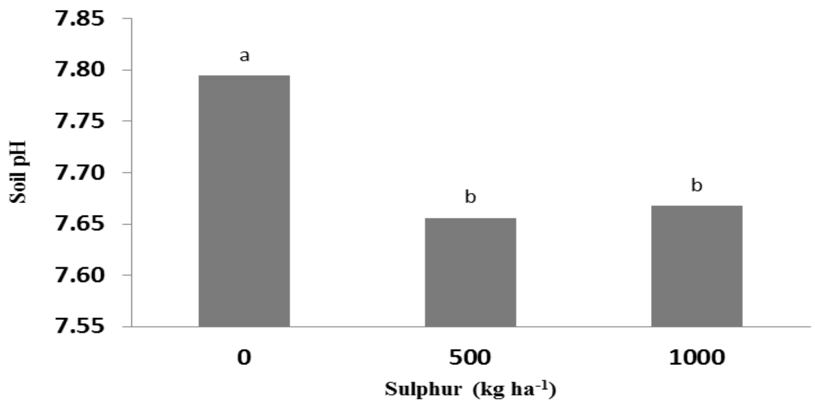
Mahmmodabadi *et al*, (2013) ابراز نمودند که کاربرد گوگرد به همراه باکتری‌های تیوباسیلوس، یکی از روش‌های کاهش موضعی pH می‌باشد.

Falahatgar *et al*., (2011) نتیجه گرفتند که افزایش سطوح گوگرد و تلقیح باکتری تیوباسیلوس باعث کاهش pH خاک شد.

Amani & Reisei (2007) نتیجه گرفتند که افزودن گوگرد منجر به کاهش pH خاک می‌شود.

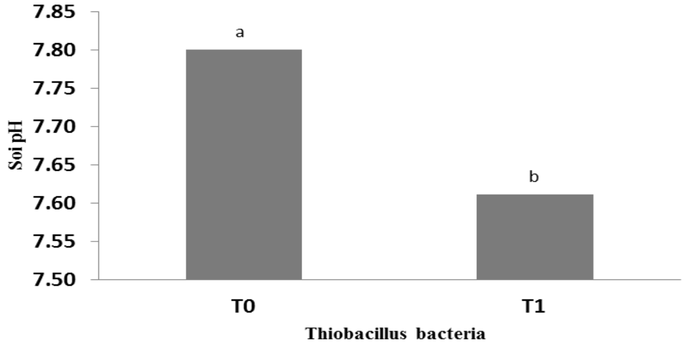
مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و تیوباسیلوس بر pH خاک (شکل ۱۷) نشان می‌دهد که بیشترین کاهش pH خاک، مربوط به۱۰۰۰گیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با باکتری تیوباسیلوس بود که چهار واحد pH نسبت به شاهد کمتر شد. باکتری‌های جنس تیوباسیلوس تیواکسیدانس اغلب شیمیولیتوتروف هستند و از ترکیبات احیاءشده گوگرد به‌عنوان منبع کسب انرژی استفاده می کنند و تعداد این باکتری‌ها در خاک کم هستند که با تلقیح این باکتری سرعت اکسایش گوگرد افزایش می‌یابد و این منجر به کاهش pH خاک می‌شود.

نتایج تجزیه آنالیز واریانس (جدول ۳) نشان داد که برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم باعث کاهش pH خاک در سطح احتمال یک‌درصد شد. مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم (شکل ۱۸) نشان می دهد که بیشترین تأثیر بر pH خاک مربوط به کاربرد ۱۰۰۰کیلوگرم گوگرد در هکتار همراه با باکتری مزورایزوبیوم سیسری استرین اماس۱۹۰ است که منجر به کاهش چهار واحد pH خاک گردید.



شکل۱۵- تأثیر گوگرد بر pH خاک

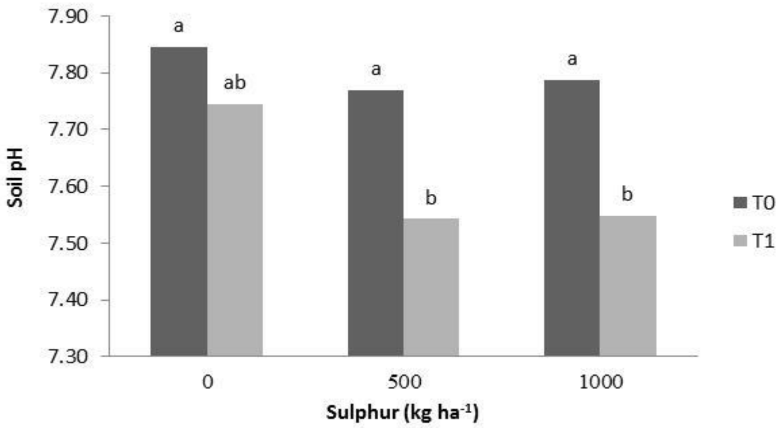
Fig. 15. Sulphur effect on soil pH



شکل ۱۶- تأثیر تیوباسیلوس بر pH خاک

Fig. 16. Thiobacillus effect on soil pH

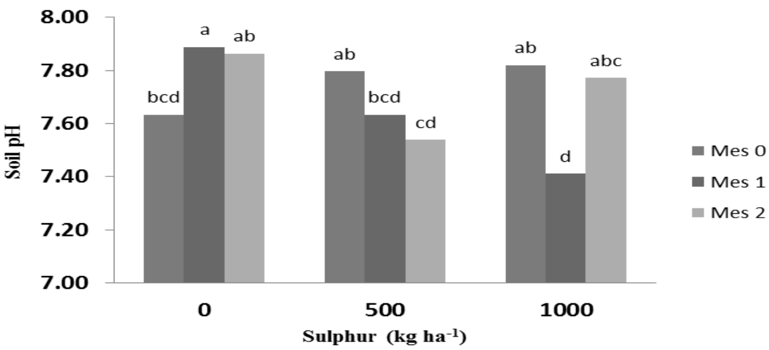
T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس



شکل ۱۷- برهمکنش تیوباسیلوس و گوگرد بر pH خاک

Fig. 17. Interaction effect of thiobacillus and sulphur on soil pH

T0: عدم کاربرد باکتری تیوباسیلوس؛ T1: کاربرد باکتری تیوباسیلوس



شکل ۱۸- مقایسه میانگین برهمکنش گوگرد و مزورایزوبیوم pH بر خاک

Fig. 18. Interaction effect of sulphur and thiobacillus on soil pH

Meso 0: عدم استفاده؛ Meso 1: سیسری استرین اماس۱۹۰؛ Meso 2: سیسری استرین اماس۹

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس و گوگرد بر عملکرد و اجزای عملکرد نخود

Table 2. Analysis of variance results of S, mesorhizobium and thiobacillus effect on yield and yield component of chickpea

منابع تغییر Sources of variation	درجۀ آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)					
		ارتفاع گیاه Plant height	تعداد غلاف No of pod	طول ریشه Root length	وزن ریشه Root wt.	پزوتئین دانه Seed protein	عملکرد Yield
بلوک (Block)	2	4.39	629.46	4.96	0.08	0.36	244354.30
گوگرد (S)	2	26.39 ns	2179.57**	0.96 ns	0.14 ns	4.24**	1201583 ns
باکتری مزو (M)	2	3.39 ns	648.57 ns	45.91*	0.06 ns	31.12**	15984186**
تیوباسیلوس (T)	1	9.44 ns	1369.07 ns	16.96 ns	0.10	4.58 ns	113360.09 *
M*S	4	0.02 ns	937.50*	24.00 ns	0.02 ns	1.91**	11777.33**
T*S	2	11.91 ns	728.72 ns	27.56 ns	0.33*	0.09 ns	201028.78**
T*M	2	42.24 ns	1197.39 ns	17.17 ns	0.04 ns	5.33**	4153.27 ns
M* S*T	4	33.80 ns	404.94 ns	17.56 ns	0.10 ns	0.94 ns	2442.33 ns
خطا(Error)	34	18.58	438.38	11.58	0.08	0.66	16161.52
CV		11.7	31.2	24.6	20.1	5.9	12.2

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** represent non significante, significante at p<0.05 and p<0.01, respectively
M= Mesorhizobum; S=Sulphur; T= Thiobacillus

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مزورایزوبیوم، تیوباسیلوس و گوگرد بر برخی خصوصیات شیمیایی خاک

Table 3. Analysis of variance results of sulphur, mesorhizobium and thiobacillus effect on soil properties

منابع تغییر (Sources of variation)	درجۀ آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)				
		گوگرد S	فسفر P	پتاسیم K	هدایت الکتریکی EC	واکنش خاک pH
بلوک (Block)	2	29.11	3.08	408038.76	51565.39	0.03
گوگرد (S)	2	178.82ns	3.79**	4913.00 **	7276.72**	0.11**
باکتری مزورایزوبیوم (M)	2	191.03 ns	4.17**	15276.84 ns	14121.50*	0.05
باکتری تیوباسیلوس (T)	1	95.36 ns	4.72 ns	15165.00 ns	8381.06ns	0.23**
M*S	4	1014.39 ns	0.03**	54422.68**	547.85*	0.49**
T*S	2	844.86**	3.97**	5154.00 ns	2481.46*	0.03**
T*M	2	153.41 ns	5.85**	1836.06 ns	11601.46*	0.04ns
M* S*T	4	211.79*	5.80**	1765.02 ns	18175.57*	0.05*
خطا(Error)	34	64.05	0.50	26225.86	5646.00*	0.02
CV		19.5	25.9	10.7	19.1	1.8

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح ۵ و ۱ درصد

ns, * and ** represent non significante, significante at p<0.05 and p<0.01, respectively
M= Mesorhizobum; S=Sulphur; T= Thiobacillus

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش در این تحقیق به طورکلی نشان می‌دهد که اثر فاکتورهای مورد بررسی بر اکثر صفات زراعی نخود مثبت بود. کاربرد همزمان مزورایزوبیوم و گوگرد عملکرد گیاه مانند تعداد غلاف در بوته، پروتئین دانه و عملکرد دانه را افزایش داد. تیوباسیلوس همراه با گوگرد، باعث افزایش عملکرد دانه و وزن ریشه شد. همچنین فسفر و گوگرد قابل جذب خاک تحت تأثیر گوگرد و تیوباسیلوس افزایش یافت. اضافه‌کردن گوگرد، همراه با مزورایزوبیوم پتاسیم و فسفر قابل دسترس برای گیاه را افزایش داد. کاربرد مزورایزوبیوم و گوگرد باعث افزایش معنی‌دار تعداد غلاف بوته شد. تیوباسیلوس همراه با گوگرد و مزوریزوبیوم تأثیر معنی‌دار بر pH خاک داشت، اما عوامل ذکرشده بر تعداد غده در ریشه و طول ساقه تأثیر معنی‌دار نداشت. استفاده از کودهای بیولوژیک (در اینجا مزوریزوبیوم و تیوباسیلوس) باعث بهبود صفات زراعی نخود و خصوصیات شیمیایی خاک شد. بنابراین در این مطالعه استفاده از کودهای بیولوژیک اثرات مثبت معنی‌داری بر محصول زراعی داشت و به‌نظر می‌رسد کاربرد این کودها بتواند در کاهش آلودگی محیط زیست نیز نقش داشته باشد که البته به مطالعات بیشتری نیاز است.

منابع

1. Afshari, A. 2013. Effect of raizobium bacteria and growth promoter on yiels and yield components of chickpea. Plant Production Technology 13: 71-81. (In Persian with English Summary).
2. Aliehyaei, M., and Behbehanizadeh, A.A. 1994. Soil Chemical Analysis Methods. Technical Journal of Soil and Water Research. Tehran. Iran. (In Persian with English Summary).
3. Al-Karaki, G.N. 2006. Nursery inoculation of tomato with arbuscular mycorrhizal fungi and subsequent performance under irrigation with saline water. Science of Horticulture 109: 112.
4. Amani, F., and Reisei, F. 2007. Effect of sulphur application on amount of soil phosphorus, potassium and zinc after cultivation of two soybean varieties. 10th Soil Science Congress. Iran. Pp: 434-435. (In Persian).
5. Amani, F., Reisi, F., and Mosavei, S. 2007. Growth and yield of two soya varieties with different sulphur levels on greenhouse condition. 10th Soil Science Congress. Karaj, Iran. 436-437. (In Persian)
6. Ansori, A., and Gholami, A. 2014. Symbiotic effect of mycorriza, thiobacillus and sulphur on yield and growth of maize. Journal of Soil Manegment and Sustainable Production 4: 114. (In Persian).
7. Bao, L. 1998. The Changes of Fertilizer Structure and Effectiveness in China. Jaingxi Scientific and Techtology Publisher, China.
8. Chapman, H.D., and Pratt, P.F. 1961. Methods of Analysis for Soil, Plants and Waters. University of California. Division of Agriculture. Sciences, p. 309.
9. Altaf, A.I., Khan, N.A., Anjum, I., Diva, M., Abdin Z., and Iqbal, M. 2005. Effect of timing of sulfur fertilizer application on growth and yield of rapeseed. Journal of Plant Nutrition 28: 1049-1059.
10. Besharati, H., and Saleh Rastein, N. 1999. Study on the effect of Thiobacillus bacteria inoculation along with sulphur on increase of available phosphorus absorbtion. Journal of Soil and Water. 13(1): 23-39. (In Persian with English Summary).
11. Daneshi, N., Asgharzadeh, A., and Afshari, M. 2004. Study on the effect of rhizobium inoculation on increasing micro nutrient elements on chickpea cultivation. 9th Soil Science Congress, Tehran. Soil Conservation and Watershed Research Center of the Country. (In Persian).
12. Ehteshami, M., Aghalikhani, A., Chaichei, M.R., and Khavazei, K. 2007. Effect of phosphate dissolver micro-organisms on some quantity and quality properties of maize seeds at water stress condition. 2nd National Congress of Sustainable Agriculture. Gorgan, 1-2. (In Persian).
13. Erman, M., Demir, S., Ocak, E., Tüfenkçi, S., Oğuz, F., and Akköprü, A. 2011. Effects of Rhizobium, arbuscular mycorrhiza and they applications on some properties in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under irrigated and rainfed conditions: 1- Yield, yield components, nodulation and AMF colonization. Earth Science 122: 14-24.

14. Falahatgar, S., Babaei, B., Besharati, H., and Cheraghi, A. 2011. Effect of different levels of sulphur and thiobacillus inoculation on yield and dry weight, cholorophyll amount and iron and zinc absorbtion of shoot in two soya varieties. First Congress of Science and New Technologies. Zanjan University. (In Persian).
15. Flavio, H., Gutierrez, B., Prystupa, P., and Gustavo, F. 2007. Seed number and yield determination in sulfur deficient soybean crops. Journal of Plant Nutrion 30: 93-104.
16. Garg, N., and Chandel, S. 2011. Effect of mycorrhizal inoculation on growth, nitrogen fixation and nutrient uptake in *Cicer arietinum* (L.) under salt stress Turkish Journal of Agriculture 4: 35.
17. Karimi, K., Bolandnazar, S., and Ashori, S. 2013. Effect of biological fertilizers and mycorrihza arbascolar on yield, growth properties and green bean qualities. Journal of Agricultural Science and Sustainable Products 23: 392-400. (In Persian with English Summary).
18. Kaplan, M., and Orman, S. 1998. Effect of elemental sulfur containing waste in a calcareous soil in Tukey. Journal of Plant Nutrition 21: 1655-1667.
19. Kochakzadeh, Y., and Malakoti, M.J. 2001. Study on the role of sulphur, thiobacillus, phosphate dissolver and organic matter in supplying phosphorus needs of plant from soil phosphate. Journal of Soil and Water 12: 243-250. (In Persian with English Summary).
20. Khosrojerdi, M., Shahsavani, Sh., Gholipor, M., and Asghari, H.R. 2013. Effect of rhizobium and mycorrhizal fungi inoculation on some nutrient uptake by chickpea at different levels of iron sulfate fertilizer. Electerical Journal of Crop Production 6: 71-82. (In Persian with English Summary).
21. Mahmmodabadi, M., Rashidi, A.L., and Fekri, M. 2013. Effect of alfalfa residue, chicken manure and potassium fertilizer on some soil properties and onion yield. Journal of Soil and Water Agriculture Science and Industry 27: 452-461. (In Persian with English Summary).
22. Majnon Hosseini, N. 1993. Legumes of Iran. Jahad Daneshgahi. Tehran University Publisher.
23. Malakouti, M.J. 2004. Soil Fertility of Arid and Semi-arid Regions. Tarbiat Modarres University, 482 pp.
24. Malcolm, R.E., and Vaghuan, D.A. 1979. Humic substances and phosphatas activities in plant tissues. Soil Biology Chemistry 11: 253-259.
25. Mendel, R. 1997. Molybdenum cofactor of higher plants: Biosynthesis and molecular biology. Planta 203: 399-405.
26. Naderi Erfani, A., Bakhshandeh, A., Nadeian, H., and Alami, K. 2007. Study on the effect of different amount of sulphur and potassium on yield and yield components of canola on cold condition. 10th Congress of Soil Science, Karaj, Iran, Paradaise of Agriculture and Natural Resources. Tehran University. P. 17. (In Persian).
27. Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., and Dean, L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodiu bicarbonate. United States Department of Agriculture Circular 939: 1-19.
28. Saini, V.K., Bhandari, S.C., and Tarafdar, J.C. 2004. Comparison of crop yield, soil microbial C, N and P, N fixation, nodulation and mycorrhizal infection in inoculated and non-inoculated sorghum and chickpea crops. Field Crops Research 89: 39-47. (In Persian with English Summary).
29. Sogut, T. 2006. Rhizobium inoculation improves yield and nitrogen accumulation in soybean (*Glycine max* L.) cultivars better than fertilizer. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 34: 115-120.
30. Shrivastava, U.K., Rajput, R.L., and Dwivedi, M.L. 2000. Response of soybean-mustard cropping system to sulfur and bio-fertilizers on farmer’s field. Legume Research 23: 277-278.
31. Solemani, R., and Asgharzadeh, A. 2010 Effects of Mesorrhizobium noculation and fertilizer application on yield and yield components of rainfed chickpea. Iranian Journal of Pulses Research 1: 1-8 (In Persian with English Summary).
32. Tabatabai, M.A. 1986. Sulfur in Agriculture. American Society of Agronomy Incopration, Madison, Wis., USA.

33. Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D., and Havlin, J.L. 1993. Soil Fertility and Fertilizer. 5th Ed. Mcmillon Publishing Co., New York. 634.
34. Togay, N., Togay, Y., Cimrin, K.M., and Turan, M. 2008. Effect of Rhizobium inoculation, sulfur and phosphorus application on yield, yield components and nutrient uptake in chickpea (*Cicer arietinum* L.). African Journal of Biotechnology 7(6): 776-782.
35. Walkley, A.J., and Black, I.A. 1934. Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
36. Yadegari, M. 2001. Evaluation of Soybean [*Glycine Max* (L.) Merr] Seeds Inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* on Yield and Yield Components to Select the Best Combination (Inoculant-Cultivar). Tehran University, Thesis of Master of Science in Agriculture.
37. Zapata, F., and Roy, R.N. 2004. Use of Phosphate Rocks for Sustainable Agricultur. Publication of the FAO Land and Water Development Division. pp.117-122.
38. Zeng, Q.F. 1996. Researches on the effect of zinc applied to calcareous soil in cotton field. China Journal of Cotton 23: 21.

Iranian Journal of Pulses Research
Vol. 9, No. 2, 2018, p. 81-99

Effect of *Mesorhizobium* and *Thiobacillus* bacteria and sulfur on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and some soil parameters

Dastorani[1], S., Shahsavani[2*], Sh. & Garanjik[3], Sh.

1. MSc. Student of Soil Science, Agriculture College, Shahrood University of Technology, dastorani.sakine@gmail
2. Assistant Professor, Soil Science Department, Agriculture College, Shahrood University of Technology
3. Associate Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Agriculture College, Shahrood University of Technology, gharanjik@hotmail.com

Received: 22 May 2016
Accepted: 25 January 2017

DOI: 10.22067/ijpr.v9i2.56126

Introduction

Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is a low cost crop in agronomic system of semi arid to arid region overall the world. This crop due to adaptable capacity is caltivated in wide range of environmental conditions and different type of soils. Chickpea seeds contain 24-34% protein, this is 2 to 3 times more than cereals and 14 to 24% more than tuber plants. Chickpea seeds inoculation with rhizhibium cause more N_2 fixation and increase chickpea yield. *Mesorhizobium ciceri* is one of the rhizobium genus that can have good symbiosis with this crop and fix atmospheric nitrogen up to 60-90% of crop nitrogen requirement after establishment on root crop. Therefore it could be said that biological fertilizers can increase crop production in a sustainable system. Mesorhizobiom can increase chickpea seeds and ultimately increase soil Phosphorus and Zinc concentration. Researchs showed that sulphur deficiency cause decrease seed yield. Nevertheless soil sulphur supply can help seed filling and increase economic yield. The aim of this study was evaluating effect of Mesorhizobium and Thiobacillus bacteria's and sulfur on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and some soil parameters.

Materials & Methods

In order to study the effect of *Mesorhizobium* and Thiobacillus bacteria and sulfur on yield and yield components of chickpea (*Cicer arietinum* L.) and some soil parameter, a field experiment was conducted at Jotai region of Khorasan Razavi province in 2013. This research was conducted as factorial based on randomized complete block design with three replications and 18 treatments. Experimental factors were three levels of sulphur (zero, 500 and 1000 kg ha^{-1}), thiobacillus bacteria in two level (control and inoculation) and Mesoreizhobium in three levels (control, *Mesorizhobium ciceri* strain 190 and *Mesorizhobium ciceri* strain 9). Plot size was 2×4 m^2 and row spacing and intra-row spacing were 60 and 20 cm, respectively. Irrigation were done at every 14 days. Weed control were done manually. Disease and pest were not recorded during experiment. After harvesting the crop, plant and soil samples from each plots were collected and transported to laboratory evaluation. Analysis of variance were done by SPSS

*Corresponding Author: shahsavani2001@yahoo.com

software. Figures were prepared by Excel 2007. Mean comparison of data were done for least significant difference (LSD) at 1 and 5% level of significant.

Results & Discussion

Analysis of variance of plant height showed that main effect of sulphur on plant hight were significant at $p<0.01$ and interaction effect of sulphur and mesorhizibium bacteria on plant hight were significant at $p<0.05$. These result is consistent with results of Solemani & Asgharzadeh (2010). Analysis of variance of data showed that different species of mesorizhobium bacteria had significant effect at $p<0.01$ on cheickpea yield. Mean comperision showed that the highest seed yield (1146.73 kg ha^{-1}) belong to *mesorizhobium ciceri* 190 and lowest seed yield (971.07 kg ha^{-1}) belong to *mesorizhobium ciceri* 9. Scientific reports showed that mesorizhobium inoculation with 25 kg ha^{-1} zinc sulphate had significantly increased the number of pods in plant and handred seed weight. Analysis of variance of root length showed that main and interaction effect of treatments were not significant on root length excep in mesorizhobium that were significant at $p<0.05$. Analysis of variance of seed protein showed that main effect of sulphur, mesorizhobium, sulfhur and mesorizhobium and thiobacillus with mesorizhobium were significant at $p<0.01$. Role of sulphur on seed protein were well understood. Analysis of variance of seed yield showed that main effect of mesorizhobium and interaction effect of sulphur and thibacillus and sulphur and mesorizhobium on seed yields were significant at $p<0.01$. Shrivastava *et al*, (2000) showed that mesorizhobium bacteria inoculation had significant effect on soyabean yield. Analysis of variance of soil sulphur showed that interaction effect of sulphur and thiobacillus had significant effect at $p<0.01$ on soil sulphur, phosphorus and soil pH but had no effect on soil potassium and electrical conductivity at $p<0.05$. Main effect of sulphur had significant effect on soil phosphorus and soil pH at $p<0.01$. However the main effect of mesorizhobium bacteria had significant effect on soil phosphorus at $p<0.01$. Main effect of thiobacillus had only significant effect at $p<0.01$ on soil pH. The interaction effect of sulphur and mesorizhobium had significant effect at $p<0.01$ on soil phosphorus, soil potassium and soil pH at $p<0.01$, but interaction effect of thiobacillus and mesorizhobium bacteria had only significant effect at $p<0.01$ on soil phosphorus. Interaction effect of all three factors had significant effect at $p<0.01$ on soil phosphorus and at $p<0.05$ on soil sulphur, EC and soil pH.

Conclusion

Analysis of variance of data in this research showed that factors in this study had positive and significant effect on agronomic parameters of chickpea and soil physic-chemical properties.

Keywords: Chickpea, Mesorhizobium bacteria, Sulfur, Thiobacillus